

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный лесотехнический университет»  
(УГЛТУ)

Кафедра энергетики

Ю.В. Путилин  
С.В. Звягин  
А.И. Сафронов

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ**

Учебно-методическое пособие к лабораторной работе №10 по курсу  
«Теплотехника» для студентов очного и заочного обучения всех  
специальностей

Екатеринбург  
2020

Печатается по рекомендации методической комиссии ИАТТС

Протокол № 1 от 30.10.2019 г.

Рецензент – профессор, доктор техн. наук С.М. Шанчуров

Редактор Л. Д. Черных

Оператор компьютерной верстки Е. Н. Дунаева

---

Подписано в печать 28.01.2020		Поз. 47
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 0,46	Цена руб. коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ

Сектор оперативной полиграфии РИО УГЛТУ

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Удельная теплоёмкость равна количеству тепла, необходимого для изменения температуры единицы количества вещества на один градус. В зависимости от выбранной единицы измерения этого количества различают:

- удельную массовую теплоёмкость  $c$ , кДж/(кг·К);
- удельную объёмную теплоёмкость  $c'$ , кДж/(нм<sup>3</sup>·К), где нм<sup>3</sup> означает 1м<sup>3</sup> объёма при нормальных физических условиях;
- удельную молярную теплоёмкость  $\mu c$ , кДж/(кМоль·К), где  $\mu$  – молекулярная масса газа.

Поскольку теплоёмкость реального газа зависит от температуры, в термодинамике различают истинную (при данной температуре) и среднюю теплоёмкости. Так, средняя массовая теплоёмкость в интервале температур от  $t_1$  до  $t_2$  равна:

$$c_m|_{t_1}^{t_2} = \frac{Q}{(t_2 - t_1)M},$$

где  $(t_2 - t_1)$  – изменение температуры тела массой  $M$  при подводе (отводе) количества теплоты  $Q$ . Если в этом выражении заменить массу числом молей или объемом, то получим, соответственно, молярную и объёмную удельные теплоемкости.

Теплоемкость зависит от природы вещества и параметров состояния. Однако она не является функцией состояния, так как зависит от характера термодинамического процесса. Большое практическое значение имеют теплоёмкость при постоянном давлении (изобарная)  $c_p$  и теплоёмкость при постоянном объёме (изохорная)  $c_v$ .

В процессе  $v = \text{const}$  теплота, сообщаемая газу, идет лишь на изменение его внутренней энергии, тогда как в процессе  $p = \text{const}$  теплота расходуется не только на увеличение внутренней энергии, а еще и на совершение внешней работы. Поэтому  $c_p$  больше  $c_v$ . Связь между этими величинами выражается следующими соотношениями:

$$1. \quad c_p - c_v = R,$$

где  $R$  – газовая постоянная;

$$2. \quad c_p / c_v = k,$$

где  $k$  – показатель адиабаты.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В работе требуется:

1. Опытным путем методом проточного калориметра определить среднюю теплоемкость воздуха при постоянном давлении в интервале температур от комнатной до 40-60°C;
2. Сравнить опытное значение теплоемкости с табличными данными и определить погрешность эксперимента.

## ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка состоит из стеклянного проточного калориметра 1 (рис.1), в котором размещен электрический нагреватель 1а, подводящий тепло к исследуемому воздуху. Для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду воздух из пространства между центральной трубкой и внешней оболочкой удален.

Температура воздуха до калориметра измеряется лабораторным термометром, разность температур воздуха на входе и выходе калориметра ( $\Delta t = t_2 - t_1$ .) определяется с помощью дифференциально включенной термопары 2. Ее термо – ЭДС фиксируется милливольтметром 3, и по градуировочному графику находится значение  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Воздух из помещения подают в установку вентилятором 5, производительность которого регулируется посредством автотрансформатора 6. Для измерения объемного расхода воздуха, протекающего через калориметр, служит ротаметр 4.

Ротаметр представляет собой стеклянную коническую трубку с делениями, внутри которой размещен поплавок 4а. При движении газа через ротаметр поплавок под его напором всплывает на высоту, пропорциональную расходу воздуха через прибор. Определив по шкале на трубке высоту подъема поплавок, по тарировочному графику находят величину расхода.

Мощность, подводимая к электронагревателю калориметра, регулируется автотрансформатором 9. Ее величину определяют расчетным путем, измеряя силу тока амперметром 8, а напряжение – вольтметром 7.

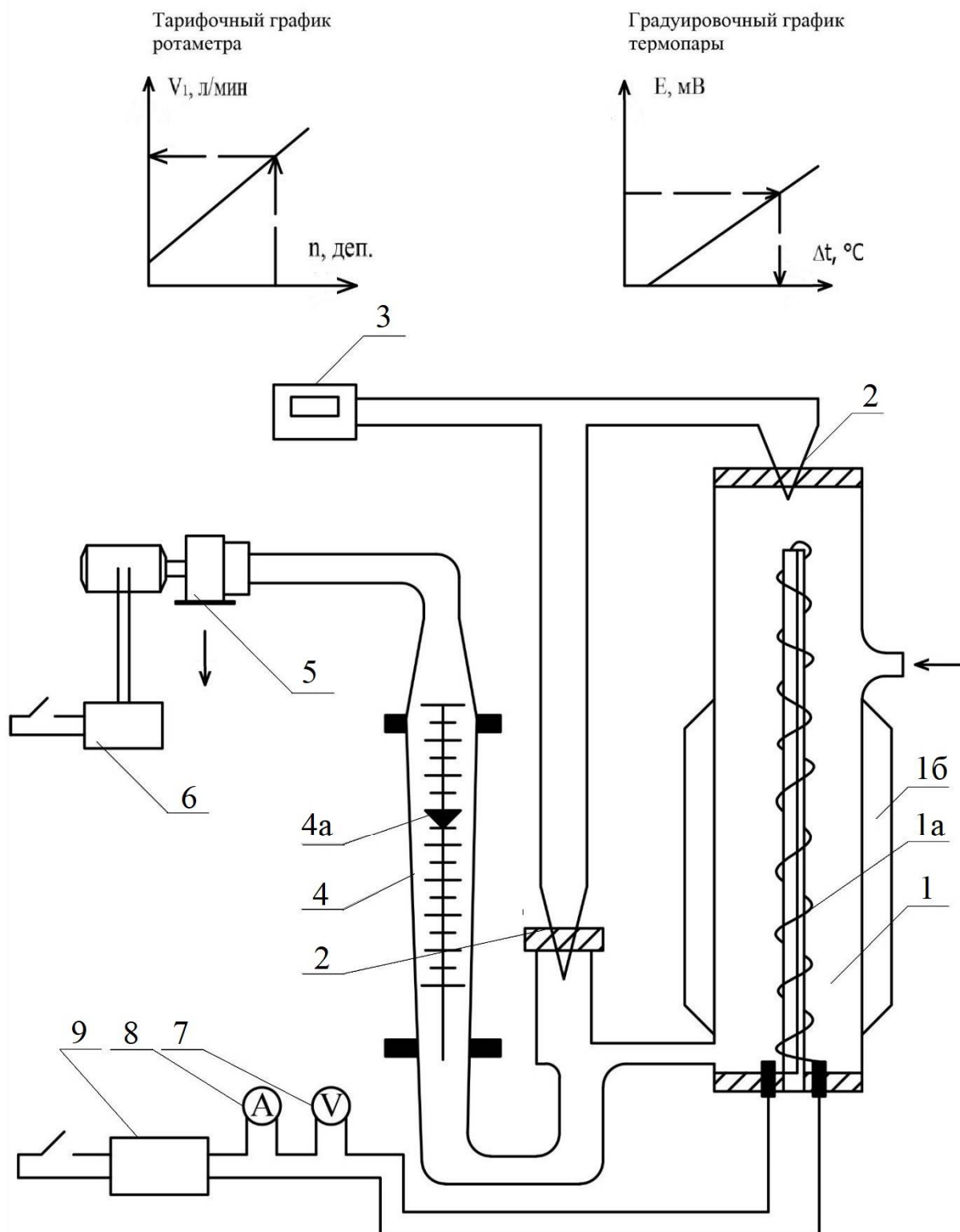


Рис.1. Схема опытной установки:

1 – калориметр; 1а – электрический нагреватель; 2 – дифференциальная термопара; 3 – милливольтметр; 4 – ротаметр; 5 – вентилятор; 6,9 – автотрансформатор; 7 – вольтметр; 8 – амперметр

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

Изучив схему установки, запускают вентилятор и устанавливают необходимый расход воздуха через калориметр, после чего включают нагреватель (выключение установки производится в обратном порядке). Рекомендуется выбирать напряжение, подаваемое на нагреватель, в диапазоне 100...120 В при показаниях ротаметра 40...50 делений.

Через 10...15 мин, когда установка прогреется, приступают к снятию показаний приборов, фиксируя их в табл. 1. Запись опытных данных следует проводить до тех пор, пока три последовательных замера температуры на выходе из проточного калориметра не совпадут по величине. Это означает, что наступил стационарный режим, который характеризуется неизменностью измеряемых величин во времени.

Далее, используя результаты последнего замера, осуществляют расчет теплоемкости. При этом, ознакомившись с порядком преобразований, проводят численные расчеты по итоговым формулам (2) и (3).

Таблица 1

### Результаты измерений

Показания термопары		Температура воздуха		Показания ротаметра		Показания амперметра	Показания вольтметра	Барометрическое давление
E, мВ	$\Delta t$ , °C	на входе, $t_1$ , °C	на выходе, $t_2$ , °C	n, дел	V, л/мин	J, А	U, В	P <sub>б</sub> , кПа

## МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В стационарном режиме количество тепла, выделенное нагревателем  $Q_H$ , полностью воспринимается воздухом  $Q_B$ , если пренебречь потерями в окружающую среду. По опытным данным средняя теплоемкость, кВт, может быть найдена из уравнения теплового баланса калориметра в стационарном режиме:

$$Q_H = Q_B = Q \quad (1)$$

$$Q = U J \cdot 10^{-3} = c'_{pm}|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) V_H,$$

где  $U$  – напряжение, В;

$J$  – ток, А;

$c'_p$  – средняя объемная теплоемкость при постоянном давлении в интервале температур  $t_1 \dots t_2$ , кДж/(нм<sup>3</sup>·К);

$(t_2 - t_1)$  – разность температур воздуха на выходе и входе проточного калориметра, К;

$V_H$  – расход воздуха через калориметр, приведенный к нормальным физическим условиям, нм<sup>3</sup>/с:

$$V_H = \frac{P_1 T_H}{P_H T_1} \frac{V_1}{60} \cdot 10^{-3},$$

где  $V_1$  – расход воздуха по тарифовочному графику ротаметра, л/мин;

$P_H, T_H$  – параметры воздуха, соответствующие нормальным физическим условиям ( $T_H = 273$  К,  $P_H = 760$  мм рт.ст. = 101325 Па);

$P_1 = P_6$  – барометрическое давление, Па;

$T_1$  – абсолютная температура воздуха на входе в проточный калориметр, К.

Из уравнения (1) с учетом выражения для  $V_H$  находим объемную теплоемкость, кДж/(нм<sup>3</sup>/К):

$$c'_p|_{t_1}^{t_2} = \frac{60 U J P_H T_1}{(t_2 - t_1) V_1 P_1 T_H}. \quad (2)$$

Массовую теплоемкость, кДж/(кг·К), определяем из соотношения

$$c_p|_{t_1}^{t_2} = \frac{c'_p|_{t_1}^{t_2}}{\rho_0}, \quad (3)$$

где  $\rho_0 = 1,293$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха при нормальных физических условиях.

Полученное экспериментальное значение теплоемкости  $c_p^{\text{эксп}}$  сравнить со справочными данными табл. 2 ( $c_p^{\text{табл}}$ ) и определить погрешность эксперимента  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{c_p^{\text{табл}} - c_p^{\text{эксп}}}{c_p^{\text{табл}}} \cdot 100 \% . \quad (4)$$

Таблица 2

Теплоёмкость воздуха

Температура, °С	Массовая теплоемкость кДж/(кг·К)		Объемная теплоемкость кДж/(нм <sup>3</sup> ·К)	
t	c <sub>p</sub>	c <sub>v</sub>	c' <sub>p</sub>	c' <sub>v</sub>
0	1,0036	0,7164	1,2971	0,9261
100	1,0061	0,7193	1,3004	0,9295
200	1,0115	0,7243	1,3071	0,9362

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен включать:

1. Наименование и цель работы;
2. Принципиальную схему установки;
3. Результаты измерений (табл.1);
4. Результаты обработки опытных данных (расчёты по формулам (2), (3), (4)).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение теплоёмкости.
2. Какие виды теплоёмкости и их размерности вы знаете?
3. От каких параметров зависит величина теплоёмкости?
4. Какими соотношениями выражается связь между теплоёмкостями при постоянном давлении (c<sub>p</sub>) и постоянном объеме (c<sub>v</sub>)?





**Ю.В. Путилин  
С.В. Звягин  
А.И. Сафронов**

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ**

Екатеринбург  
2020